

## Medição Remota de Corretores de Volume de Gás Natural Usando Internet das Coisas

Everton Camoleze de Araujo, Regis de Goes Vieira, Eduardo Paciência Godoy

\*Universidade Estadual Paulista (Unesp), Sorocaba, SP ( [everton.camoleze@unesp.br](mailto:everton.camoleze@unesp.br), [regis.vieira@unesp.br](mailto:regis.vieira@unesp.br), [eduardo.godoy@unesp.br](mailto:eduardo.godoy@unesp.br) )

---

**Abstract:** One of the biggest challenges within the utilities sector is the determination of robust and low-cost methods for the massive realization of the billing of its customers. The focus of this work is the study of the LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) protocol for the development of an advanced metering infrastructure (AMI) to perform natural gas billing for industrial customers who have a PTZ-type gas volume broker installed in their facilities. The AMI solution consists of a remote module to collect the variables of gas measurement brokers and transmit this information using LoRaWAN and an IoT platform for communication supervision and management of measurement data.

**Resumo:** Um dos maiores desafios existentes dentro do setor de *utilities* está na determinação de métodos robustos e de baixo custo para a realização massiva do faturamento de seus clientes. O foco deste trabalho consiste no estudo do protocolo *LoRaWAN* (abreviação em inglês para Rede de Longa Distância e Longo Alcance) desenvolvimento de uma infraestrutura de medição avançada (*AMI*) para realização de faturamento de gás natural de clientes industriais que possuam o corretor de volume de gás tipo PTZ instalado em suas plantas. A solução de AMI é composta por um módulo remoto para coletar as variáveis dos corretores de medição de gás e transmitir essas informações usando LoRaWAN e uma plataforma de IoT para o gerenciamento da comunicação e gestão dos dados de medição.

**Keywords:** Internet of Things; Natural Gas Measurement; LoRaWAN network; Advanced Measurement Infrastructure; PTZ Type Gas Volume Corrector.

**Palavras-chaves:** Internet das Coisas; Medição de Gás Natural; Rede *LoRaWAN*; Infraestrutura de Medição Avançada; Corretor de Volume de Gás Tipo PTZ.

---

### 1. INTRODUÇÃO

Um dos grandes desafios encontrados pelas empresas de *utilities* para realização do faturamento de seus clientes está na aplicação de uma solução massiva, robusta, confiável, simples e de baixo custo para que esta operação seja realizada. É sabido que o faturamento de clientes é realizado há décadas na grande parcela dos casos de forma tradicional, em que é necessária a visita em cada ponto de medição para que os valores apresentados nos medidores sejam coletados (Schreiber et al, 2018). Dentro do segmento industrial, outro fator que pode agravar o problema no faturamento é o controle de acesso que as empresas possuem, o que pode aumentar significativamente o tempo para se ter acesso ao medidor para coleta dos dados de faturamento (Nugroho e Wibisono, 2019).

Um método que tem sido aplicado em alguns tipos de clientes consiste na integração de um dispositivo eletrônico com tecnologia de comunicação celular ao medidor. Este dispositivo poderá coletar os dados de processo, os quais serão enviados a uma base através de redes de comunicação GPRS, 3G ou 4G. O problema desta solução é que geralmente os dispositivos considerados não são nativamente criados para esta aplicação, o que elevava seu custo de implementação. Outro fator que inviabilizava a aplicação em

massa é o alto custo envolvido na contratação de redes celulares em aplicações massivas. Desta forma, este método geralmente é considerado em clientes estratégicos, em que o consumo de uma determinada fonte é elevado ou o acesso ao medidor possui barreiras físicas ou administrativas.

Tendo em vista a expansão das redes de comunicação sem fio LPWAN (*Low Power Wide Area Network*) a área de faturamento de clientes é um campo que tem ganhado grande foco no desenvolvimento de soluções utilizando os recursos de Internet das Coisas (*Internet of Things*, ou *IoT*) (Egli 2015). Atrelado aos avanços proporcionados pela *IoT*, uma Infraestrutura de Medição Avançada (*Advanced Metering Infrastructure*, ou *AMI*) é a base para qualquer solução de gestão inteligente e ela congrega a automação da medição remota de medidores e de infraestruturas de comunicação com o processamento e análise de dados geograficamente distribuídos usando técnicas avançadas e recursos de Computação em Nuvem (Perasso, 2016).

No campo de medição de gás natural, a aplicação de *AMI* pode trazer potenciais benefícios que justificam a sua implementação, como por exemplo, a análise mais assertiva do perfil de consumo de um determinado cliente a fim de entender o seu comportamento e prever soluções energéticas, o faturamento remoto do consumo de gás que atualmente é

realizado fisicamente, a detecção de medidores que operam fora dos ranges de medição e também a detecção de fraudes e vazamentos de gás natural.

Considerando este cenário e as novas ferramentas que têm sido lançadas no mercado para soluções de *IoT* (Solagna 2020), a proposta deste trabalho consiste no desenvolvimento e aplicação de um *AMI* em sistemas de medição de gás natural dentro do segmento industrial, em que além de coletar e enviar os dados gerados em campo para uma plataforma, também serão realizadas avaliações destes dados a fim de entender o comportamento de um ou mais clientes e também implementar ferramentas que auxiliem na detecção de comportamentos atípicos no processo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Rede LoRaWAN

A rede *LoRaWAN* (*LoRa*, 2021) refere-se a rede de comunicação de longo alcance utilizada em sistemas de Internet das Coisas, que em sua camada física utiliza a modulação de rádio tipo CSS (*Chirp Spread Spectrum*) (Berni, 1973). Dentre as principais características desta rede de comunicação, além de possuir baixo consumo de energia, este método de modulação possibilita à rede *LoRaWAN* grande alcance quanto a sua comunicação e robustez contra interferências, em que um único *gateway* instalado é capaz de gerar cobertura de sinal em cidades inteiras, ou em grandes extensões territoriais, cujo alcance é afetado diretamente de acordo com a característica do local onde a rede está presente e deve ser avaliado previamente (Marcos, 2020).

A rede *LoRaWAN*, assim como as demais *LPWAN* (Souza, 2018), utiliza topologia em estrela de comunicação, ou seja, nesta topologia todos os dispositivos que estão conectados à rede estão diretamente ligados aos *gateways*. Conforme é possível verificar na Figura 1, cada dispositivo fica conectado a diversos *gateways* que estão distribuídos na área de cobertura da rede, facilitando assim o envio de informações coletadas pelos dispositivos, que poderá desmembrar a informação em pequenos pacotes, os quais podem ser recebidos por *gateways* distintos e enviados ao servidor de conexões através de rede celular, satélite, *Ethernet* ou *Wi-fi*. Uma característica importante da rede é que os dispositivos se comunicam de forma assíncrona, ou seja, ele é capaz de se comunicar com o *gateway* assim que ele possuir dados disponíveis.

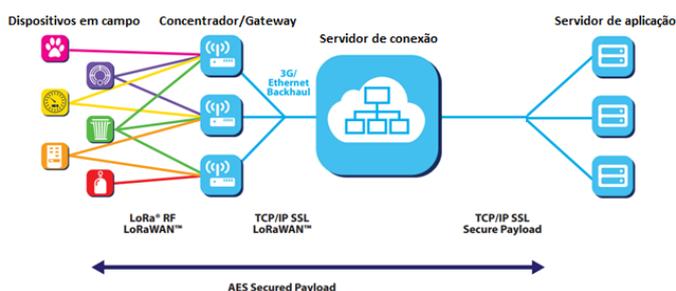


Fig. 1 – Arquitetura da rede *LoRaWAN* (ATC, 2021).

A *American Tower* do Brasil (ATC, 2021) é a proprietária independente e operadora de torres de comunicação líder do mercado nacional, em que, além de alugar espaços em torres para as empresas de telecomunicação, também conta com a rede de Internet das Coisas na tecnologia *LoRaWAN*, além de serviços que aprimoram a cobertura de redes sem fio. A ATC implantou cobertura da rede *LoRaWAN* em todos os estados brasileiros, disponibilizando *gateways* para a conexão com os dispositivos instalados em campo e também disponibilizando o servidor de conexão. Caso o usuário opte pela cobertura privada da rede *LoRaWAN*, ele pode contratar o serviço ofertado pela empresa.

### 2.2 Medição de Gás Natural

A medição fiscal de gás natural, ou transferência de custódia, refere-se à medição realizada em um ponto de entrega onde é possível realizar a transação comercial deste fluido, ou seja, a mudança do proprietário é realizada e o seu faturamento é feito de acordo com a quantidade que é fornecida.

Os medidores de vazão utilizados para medição fiscal de gás natural medem o volume de gás natural nas condições de temperatura e pressão da linha (ou condição de operação), grandeza é expressa em metro cúbico ( $m^3$ ). No entanto, devida a característica de compressibilidade dos gases, os valores de volume de gás natural devem ser considerados na condição de base para que o faturamento da quantidade correta de gás consumida seja efetivamente cobrado (AGA, 2017). Este volume é expresso em metro cúbico normalizado, ou normal metro cúbico ( $Nm^3$ ) e seu método de cálculo é apresentado em (1).

$$V_b = (P/P_b) \cdot (T_b/T) \cdot (Z_b/Z) \cdot V \quad (1)$$

Variáveis consideradas:

- $V_b$  = Volume nas condições de base ( $Nm^3$ )
- $V$  = Volume nas condições de operação ( $m^3$ )
- $P$  = Pressão absoluta na condição de operação (bar)
- $P_b$  = Pressão absoluta na condição de base (bar)
- $T_b$  = Temperatura absoluta na condição de base (K)
- $T$  = Temperatura operação (K)
- $Z_b$  = Fator de compressibilidade na condição de base (-)
- $Z$  = Fator de compressibilidade na condição de operação (-)

Desta forma, conforme a Figura 2, além do medidor de vazão de gás com totalização de volume (1) instalado no processo de medição fiscal, torna-se necessária a consideração de um transmissor de pressão (2) e de um transmissor de temperatura (3) para que as condições reais de processo possam ser levadas em consideração. Estas variáveis, juntamente com a composição físico química do gás natural são verificadas por um corretor de volume de gás tipo PTZ (ou apenas PTZ) (4), onde posteriormente o cálculo de correção de volume de gás é realizado e disponibilizado ao usuário.

A fim de garantir a integridade da medição realizada, todas as variáveis coletadas são enviadas para um corretor de volume de gás, o qual possui um algoritmo de cálculo aprovado metrologicamente por entidades reconhecidas mundialmente, como por exemplo a AGA (do inglês *American Gas Association*). Isto garante que o faturamento está sendo realizado dentro de todos os padrões normativos aplicados neste tipo de processo, sem a interferência do usuário (ABNT-1, 2020).

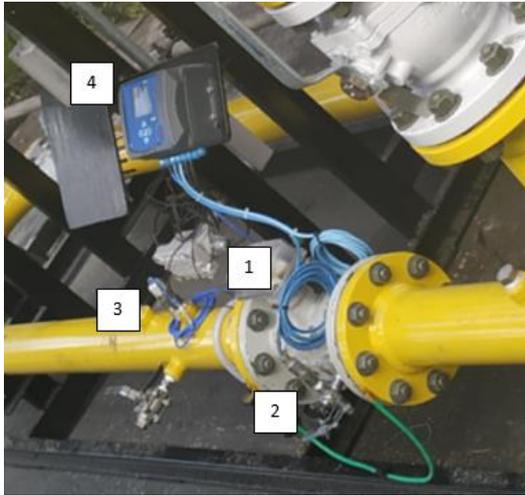


Fig. 2 – Processo com medição fiscal de gás natural (Elaborado pelos Autores).

A Figura 3 apresenta o processo de correção do gás natural segundo as boas práticas recomendadas normativamente (ABNT-2, 2008).

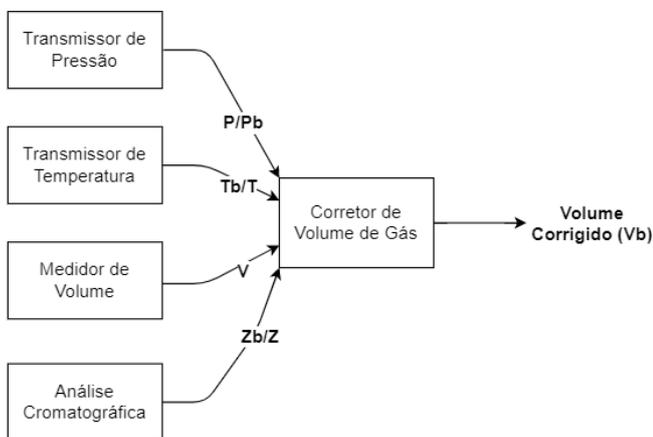


Fig. 3 – Processo de correção de volume de gás natural (Elaborado pelos Autores).

### 3. METODOLOGIA PROPOSTA

A arquitetura geral proposta pode ser exemplificada conforme a Figura 4, em que se tem separadas as três camadas principais de atuação da solução: a integração em campo do módulo desenvolvido com os instrumentos existentes, a comunicação sem fio realizada através do protocolo de comunicação *LoRaWAN* e o servidor que suportará a interface desenvolvida para análise e

monitoramento dos dados de processo coletados em campo (Coelho, 2020).

Para coletar os dados gerados pelo PTZ, foram utilizados 2 métodos de comunicação: por meio de sinal pulsado e do protocolo Modbus RTU. Para aquisição dos dados de pressão, temperatura, vazão instantânea corrigida e não corrigida, fator de correção e fator Z, a comunicação Modbus RTU foi realizada através da porta de comunicação RS-232 do PTZ e a porta serial do dispositivo microcontrolado.

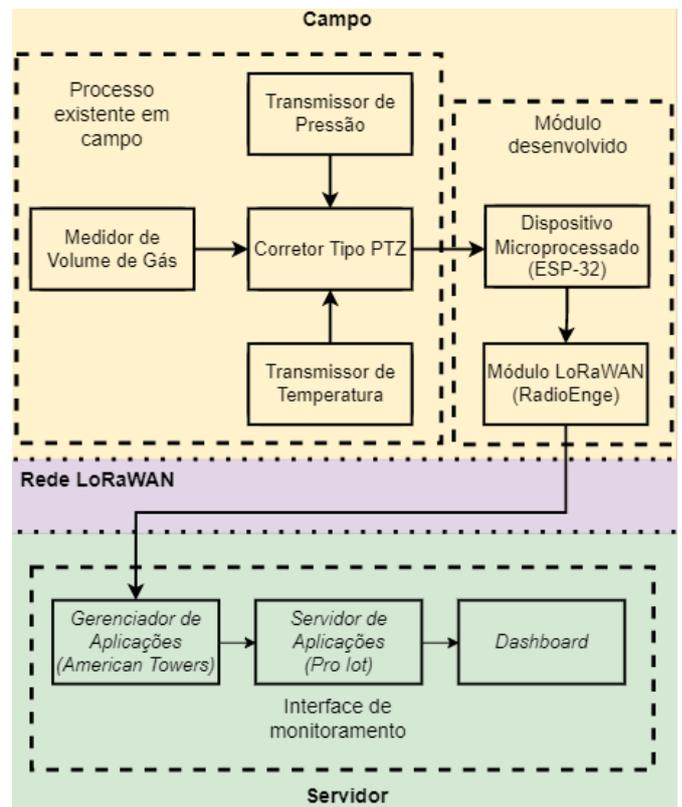


Fig. 4 – Metodologia proposta (Elaborado pelos Autores).

Para a coleta dos sinais pulsados dos volumes totalizados corrigidos e não corrigidos do PTZ e também para o detector de abertura da tampa do instrumento, conforme a Figura 5, o dispositivo microcontrolado considerado necessitou de 3 canais para que a coleta destas variáveis de processo fosse realizada.

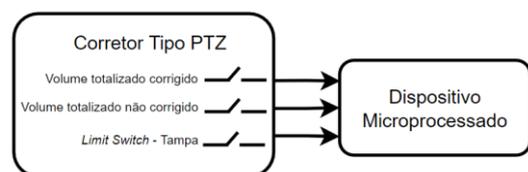


Fig. 5 – Coleta de dados pulsados (Elaborado pelos Autores).

Os dados coletados pelo dispositivo microcontrolado serão agrupados em um único *payload*, que possui um alias para cada variável de processo. Este alias tem como função determinar em qual parte do *payload* o dado referente a uma

variável específica de processo está alocado, conforme exemplificado na Figura 6. Para envio dos *payloads* gerados, o dispositivo microcontrolado e o módulo *LoRaWAN* utilizarão um canal de comunicação serial e esta informação será retransmitida através do protocolo de comunicação *LoRaWAN* para o gerenciador de aplicações.



Fig. 6 – Geração de Alias no *payload* (Elaborado pelos Autores).

Para envio dos dados, optou-se pela contratação de conectividade ofertada pela empresa *ProIoT* e o pacote de contratação de rede *LoRaWAN* selecionado é o G, que permite até 4.800 *uplinks*/mês e 240 *downlinks*/mês, além do acesso à plataforma de gestão de ativos, em que será possível criar um *dashboard* para que os dados coletados em campo possam ser monitorados e analisados.

Dentro do gerenciador de aplicações, o módulo desenvolvido foi cadastrado com as informações necessárias para que a comunicação *LoRaWAN* fosse sucedida e foi criado o *dashboard* geral do projeto, em que serão exibidos todos os dados de processo em formato instantâneo e histórico, assim como a geolocalização do dispositivo e os alarmes de processo existentes (Pereira, 2018).

#### 4. DESENVOLVIMENTO

Em relação ao fornecimento de eletricidade ao módulo desenvolvido, foi considerada a bateria do PTZ como fonte de alimentação elétrica a todo o sistema. A tensão fornecida de 3,7 Vcc alimentará, além do próprio PTZ, o microcontrolador modelo ESP-32 (Eletrogate, 2022), o módulo de comunicação *LoRaWAN* modelo *Radioenge* e o conversor *pull up* modelo XL6009E1. O conversor, por sua vez, irá elevar a tensão de 3,7Vcc para 5Vcc para que a porta RS-232 do PTZ e o conversor Max3232 possam ser alimentados eletricamente.

Para coletar os valores de volume totalizado corrigido e de volume totalizado não corrigido gerados pelo PTZ, foi considerada a conexão do ESP-32 nas duas saídas pulsadas disponíveis no PTZ: a porta J5-Out1 e a porta J5-Out2. A porta J5-Out1 foi interligada no canal GPIO05 do ESP-32 e a porta J5-Out2 foi interligada no canal GPIO18 do ESP-32. Também foi implementado um *limit switch* dentro do PTZ, que foi conectado ao canal GPI19 do ESP-32 e que possui a função de alertar o usuário sempre que a porta do equipamento for aberta, a partir de um alarme que será gerado na plataforma de monitoramento de dados.

A porta J6 do PTZ possui a função de comunicação via protocolo de comunicação Modbus RTU por uma porta RS-232. Ela foi conectada ao ESP-32 através do GPIO16 e GPIO17 para que a comunicação seja realizada e os dados das seguintes variáveis sejam capturados: temperatura, pressão, fator de correção, fator Z e vazão instantânea corrigida. Dado que os níveis de tensão entre estes

dispositivos não são compatíveis, onde o PTZ opera com tensão de alimentação de 5Vcc (mínimo) e o ESP-32 opera em 3,3Vcc, considerou-se o conversor RS-232/TTL MAX3232.

Também foram utilizados os canais GPIO26 e GPIO27 para se comunicar com o PB6 e PB7 do Módulo *LoRaWAN* – *Radioenge* e através da comunicação serial, os dados de processo, geolocalização e alarmes serão enviados para a plataforma de gerenciamento de dados através do protocolo de comunicação *LoRaWAN*. A Figura 7 apresenta o esquemático considerado.

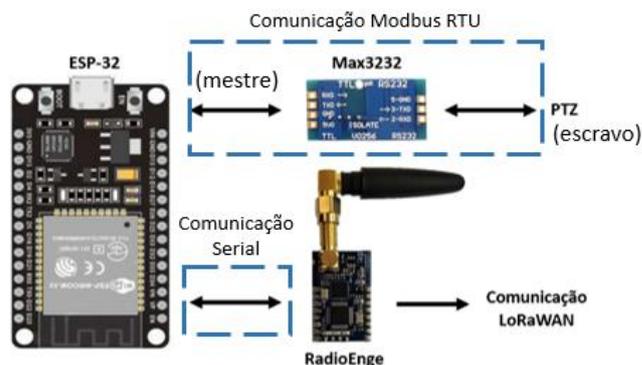


Fig. 7 – Esquemático da comunicação serial entre ESP-32 e Radioenge e com o PTZ (Elaborado pelos Autores).

Após implementado em protoboard cada um dos métodos citados, foi possível testar isoladamente cada uma das funções da solução. Após a realização e validação destes testes, foi possível construir o módulo remoto conforme a Figura 8. Nele foram considerados bornes que auxiliam na interligação entre o PTZ e o módulo desenvolvido e ressalta-se que ao final da validação, será realizada a confecção de uma placa de circuito impresso industrializada.

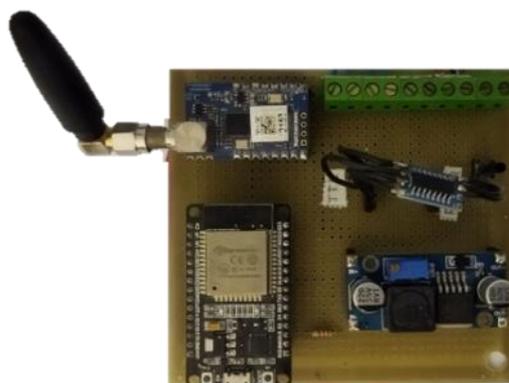


Fig. 8 – Protótipo do módulo remoto desenvolvido (Elaborado pelos Autores).

#### 5. RESULTADOS OBTIDOS

Após montado o protótipo do módulo remoto, a etapa seguinte consistiu nos testes para validação da solução desenvolvida, onde o primeiro teste realizado consistiu na validação da comunicação Modbus RTU entre o ESP-32 e o corretor de volume de gás tipo PTZ. Conforme a Tabela 1,

foram informados os endereços que o ESP-32 (que atua como mestre) deseja coletar as informações do PTZ (que atua como escravo).

Dados no PTZ			
Endereço	Tipo	Variável	Valor
824	Float	Vazão	128,10
834	Float	Temperatura	25,60
836	Float	Pressão	0,99
838	Float	Fator Correção	2,10
840	Float	Fator Z	0,99

Tabela 1 – Comunicação Modbus RTU entre PTZ e ESP32 (Elaborado pelos Autores).

As variáveis de vazão, temperatura, pressão, fator de correção e fator Z foram recebidas corretamente e, juntamente com as variáveis de volume totalizado corrigido, volume totalizado não corrigido, latitude, longitude e estado da tampa. O *payload* da informação passou a ser disponibilizado para a aplicação conforme o exemplo apresentado na Figura 9, onde o sufixo destacado em vermelho representa o início da informação de cada variável de processo que foi considerada.

A1573012B10.00C10.00D10.00E1  
0.00F10.00G12121130H10I1-  
23402399J1-47381682

Figura 9 – *Payload* coletado pela solução desenvolvida (Elaborado pelos Autores).

Posteriormente, foi possível verificar dentro da plataforma *ProIoT* o recebimento deste *payload* e ele foi fragmentado através dos alias que foram criados. Conforme a Figura 10, todas as variáveis de processo coletadas em campo estão disponíveis dentro do servidor de aplicações.

As variáveis de processo disponíveis na plataforma *ProIoT* foram inseridas no *dashboard* criado na plataforma, em que todas as variáveis de processo monitoradas são exibidas conforme a Figura 11. Além dos dados no formato histórico e instantâneo, também foi possível validar alarmes de processo: a pressão de operação e os valores de vazão lidos foram avaliadas em relação aos valores gerados em bancada. O alarme de abertura de tampa também pode ser validado, atuando como uma redundância ao selo físico existente no instrumento, evitando-se assim possíveis fraudes na medição de gás natural. Neste *dashboard* também é possível ter os dados de geolocalização do dispositivo e desta forma, a assertividade na análise do medidor correto torna-se maior.

NOME DA VARIÁVEL	ALIAS	ÚLTIMO VALOR
Totalizador Não Corrigido	A1	573012m³
Vazão	B1	0.00m³/h
Temperatura	C1	0.00°C
Pressão	D1	0.95bar
Fator Correção	E1	0.00-
Fator Z	F1	0.00-
Totalizador Corrigido	G1	2121130Nm³
Tampa	H1	0-
Latitude	I1	-23.402399°
Longitude	J1	-47.381682°

Figura 10 – Variáveis de processo exibidos na plataforma *ProIoT* (Elaborado pelos Autores)

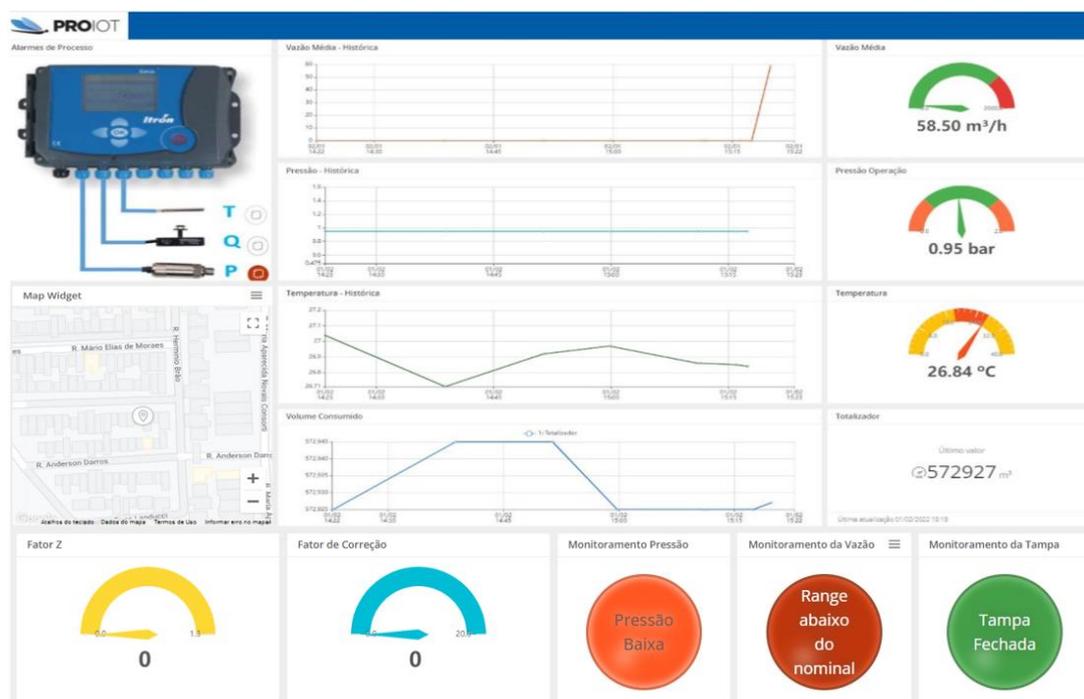


Figura 11 – *Dashboard* da solução desenvolvida (Elaborado pelos Autores)

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de uma solução de AMI para medição remota de consumidores industriais de gás natural usando recursos de IoT. Para isso foi desenvolvido um módulo microcontrolado remoto capaz de coletar os dados de processo necessários para o monitoramento e faturamento de um determinado consumidor industrial de gás natural. Esse módulo remoto utilizou a comunicação bidirecional sem fio em longa distância através do protocolo LoRaWAN para transmissão dos dados de medição do processo para uma plataforma de IoT. A plataforma ProIoT foi utilizada para gerenciamento da comunicação, monitoramento e gerenciamento dos dados coletados dos medidores.

O módulo remoto foi composto de um microcontrolador ESP32 e rádio LoRaWAN, sendo responsável por coletar as principais variáveis existentes no processo de faturamento de gás natural: pressão, temperatura, volume totalizado corrigido, volume totalizado não corrigido, vazão instantânea corrigida, fator de correção e fator Z. Também foi desenvolvida uma aplicação de gerenciamento (*dashboard*) na plataforma IoT para que os dados coletados fossem exibidos de forma amigável ao usuário, facilitando-se assim o seu entendimento sobre o comportamento do ativo onde o corretor de volume de gás (do tipo PTZ) está instalado.

Como aspectos que viabilizam a implementação massiva da solução de AMI desenvolvida, pode-se destacar a melhora no método existente de faturamento de gás natural, onde agora pode-se considerar uma infraestrutura de comunicação mais robusta, o que garantirá a disponibilidade dos dados de processo necessários ao usuário. Em relação ao entendimento do comportamento do ativo, será possível realizar a avaliação do perfil de consumo de um determinado cliente, permitindo que fraudes no sistema ou comportamentos atípicos causados por falhas operacionais possam ser detectadas rapidamente.

Trabalhos futuros neste projeto incluirão três funcionalidades que otimizam o entendimento do usuário em relação do tipo de cliente em que o corretor de volume de gás está instalado: detecção de intervalos de medição fora dos limites operacionais, detecção de possíveis vazamentos existentes na rede de gás natural e a detecção de abertura indevida da tampa do instrumento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia de Gás de São Paulo (Comgás) pelo apoio do desenvolvimento de trabalho

## REFERÊNCIAS

- A. BERNI, W. GREGG, 1973. *On the utility of chirp modulation for digital signalling*. IEEE Transactions on Communications.
- A. D. COELHO, et al. 2020. *Monitoring of Soil Moisture and Atmospheric Sensors with Internet of Things (IoT)*

- Applied in Precision Agriculture. XIV Technologies Applied to Electronics Teaching Conference (TAAE).*
- American Gas Association – AGA. 2017. Report nº8 – *Compressibility Factors of Natural Gas and Other Related*
- American Tower do Brasil. 2021. *Infraestrutura sem fio para viabilizar um mundo conectado* [Online]. Disponível em: <https://americantower.com.br/pt/index.html>. [Acesso em 18 de Janeiro de 2021].
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT(1). 2020. *NBR 14978 Parte 1 – Conversores de volume de gás – Terminologia, classificação, faixas de medição e condições estipuladas de funcionamento*,
- Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT(2). 2008. *NBR 15213 - gás natural e outros combustíveis gasosos - cálculo do poder calorífico, densidade absoluta e relativa e índice de wobble a partir da composição*.
- C. NUGROHO, G. WIBISONO. 2019. *NB-IoT Planning in Jakarta Area for Smart Meter Utilities* [Online]. Disponível em <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9074629>. [Acesso em 29 de Maio de 2021].
- ELETROGATE. 2022. *Conhecendo o ESP32 – Introdução*. [Online]. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/conhecendo-o-esp32-introducao-1/>. [Acesso em 10 de Fevereiro de 2022].
- E. M. PEREIRA. 2018. *Plataforma Industrial de Internet das Coisas* [Online]. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/114137>. [Acesso em 12 Maio 2021].
- E. SOLAGNA. 2020. *Análise de perdas de pacotes de uma rede LoRaWAN* [Online]. Disponível em: <http://tede.upf.br/jspui/handle/tede/1913>. [Acesso em 12 de Junho de 2021].
- F. V. SCHREIBER, et al. 2018. *Application of the IoT Paradigm for Supervision in the Utilities Industry*. 13th IEEE International Conference on Industry Applications.
- LoRa Long Range. 2021. *Arquitetura da Rede* [Online]. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2019-1/vf/lora/arquitetura.html>. [Acesso em 20 de Maio 2021].
- P. EGLI. 2015. *LPWAN - Overview of emerging Technologies for low power wide area networks in internet of things and M2M scenarios*. [Online]. Disponível em: [https://pb.net/fileadmin/TMC/2017\\_2018/lora.pdf](https://pb.net/fileadmin/TMC/2017_2018/lora.pdf). [Acesso em 20 Junho 2021].
- P. M. SOUZA. 2018. *Análise sobre as Tecnologias Disponíveis em Rede LPWAN* [Online]. Disponível em: [http://www.uel.br/cce/dc/wpcontent/uploads/Paulo\\_Preliminar.pdf](http://www.uel.br/cce/dc/wpcontent/uploads/Paulo_Preliminar.pdf). [Acesso em 07 de Junho de 2021].
- V. PERASSO. 2016. *O que é a 4ª revolução Industrial e como ela deve afetar nossas vidas* [Online]. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/geral-37658309>. [Acesso em 22 de Outubro de 2021].
- V. R. S. MARCOS, et al. 2020. *Avaliação de Dispositivos de Rastreamento em uma RedeLoRaWAN no Contexto de Cidades Inteligentes* [Online]. Disponível em <https://sol.sbc.org.br/index.php/courb/article/view/12349>. [Acesso em 25 de Junho de 2021].